



EESTI MAAÜLIKOOL

Metsandus- ja maaehitusinstituut

Metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool

Marek Uri

**MAAPEALNE BIOMASS, PRODUKTSIOON JA SÜSINIKU
VARUD ERINEVA VANUSEGA PALUMÄNNIKUTES**

**ABOVE-GROUND BIOMASS, PRODUCTION AND CARBON
STORAGES IN MESOTROPHIC SCOTS PINE STANDS OF
DIFFERENT AGES**

Magistritöö

Metsanduse õppekava

Juhendajad: teadur Mats Varik, *PhD*

Prof. Veiko Uri, *PhD*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Marek Uri		Õppekava: Metsamajandus	
Pealkiri: Maapealne biomass, produktsioon ja süsiniku varud erineva vanusega palumännikutes			
Lehekülgi: 31	Jooniseid: 3	Tabeleid: 6	Lisasid: 1
Osakond:	Metsakasvatus ja metsaökoloogia		
ETIS-e teadusvaldkond	1.5 metsateadus (B430 Metsakasvatus, metsandus,		
ja CERC S-i kood:	metsandustehnoloogia		
Juhendaja(d):	Mats Varik, Veiko Uri		
Kaitsmiskoht ja aasta:	Tartu, 2019		
<p>Harilik mänd on Eestis kõige levinum puuliik, kuid teadmised tema biomassi produktsioonist ja süsiniku (C) sidumise dünaamikast on lünklikud. Samas vajavad riigi poolt esitatavad kliimaraportid detailsemaid teadustööl põhinevaid hinnanguid metsade C varudest. Seega on puistute biomassi, produktsiooni ja C sidumise dünaamika uurimine aktuaalne teema, selgitamaks metsade C sidumist regionaalsel tasandil.</p> <p>Magistritöö peamiseks eesmärgiks oli hinnata erineva vanusega palumännikute maapealse osa biomassi ja selle fraktsionaalset jaotust ning selles akumulunud C varu. Lisaks hinnati männikute tüvepuidu aastast produktsiooni ja selles seotud C voogu.</p> <p>Maapealse biomassi hindamiseks kasutati mudelpuude meetodit. Kokku kasutati 35 mudelpuu andmeid kuult erinevalt katsealalt. Puistud kasvasid mustika kasvukohatüübis või jänese kapsa-mustika alltüüpis. Uuritud männikute vanus jäi vahemiku 17 – 109 aastat. Tüvepuidu produktsiooni hinnati analüüsiketastel mõõdetud aastarõngaste põhjal.</p> <p>Erivanuseliste männikute maapealne biomass jäi vahemikku 54 – 245 t ha⁻¹ ja biomassi dünaamikat puistute vanusereas iseloomustas selle suurenemine kuni 80 a. vanuseni. Vanimas uuritud puistus (109. a) maapealne biomass vähenes. Puude maapealses biomassis seotud C varu jäi vahemikku 25 – 115 t C ha⁻¹ ja suurenes vastavalt maapealse biomassi dünaamikale, kulmineerudes 80-aastases puistus.</p> <p>Puistute aastases produktsioonis (puude maapealne biomass) seotud C voog jäi vahemikku 2,53 – 4,85 t C ha⁻¹ a⁻¹ ja oli suurem nooremates männikutes.</p>			
Märksõnad: Maapealne biomass, harilik mänd, fraktsionaalne jaotus, biomassi produktsioon, süsiniku sidumine			

Estonian University of Life Sciences		Abstract of Master's Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Marek Uri		Speciality: Forest management	
Title: Above-ground biomass, production and carbon storages in mesotrophic scots pine stands of different ages			
Pages: 31	Figures: 3	Tables: 6	Appendixes: 1
Department:	Silviculture and Forest ecology		
Field of research and (CERC S) code:	1.5 forest sciences (B430 silvicultre, forestry, forest technology		
Supervisors:	Mats Varik, Veiko Uri		
Place and date:	Tartu, 2019		
<p>Scots pine is one of the most common tree species in Estonian forests. For more relevant climate reports, more profound knowledge about forest biomass is needed. Research about biomass and its production and in different forest ecosystems are crucial to estimate carbon (C) storages and fluxes in forests regionally.</p> <p>The main aim of this Master`s thesis was to estimate above-ground biomass and it`s fractional distribution in Scots pine stands of different ages. Accumulated C was found on basis of estimated biomass. Annual production of above-ground biomass of pine stands was estimated as well.</p> <p>The model tree method was used to estimate above-ground biomass of stands. In total, 35 model trees were selected from 6 different study sites. Stand age varied between 17 – 109 years. To estimate annual stemwood production, analyze discs were taken from each model tree and tree rings were measured.</p> <p>The biomass of studied Scots pine stands increased until age of 80 years and total above-ground biomass ranged between 54 – 245 t ha⁻¹. In the oldest stand (109-year-old) above-ground biomass decreased accordingly.</p>			
Keywords: Above-ground biomass, Scots pine, fractional distribution, biomass production, carbon sequestration			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. METOODIKA	7
1.1 KATSEALAD	7
1.2 MUDELPUUDE MAAPEALSE OSA BIOMASSI HINDAMINE	8
1.3 PUUDE AASTASE PRODUKTSIOONI HINDAMINE	9
2. TULEMUSED JA ARUTELU	11
2.1 PUISTUTE MAAPEALNE BIOMASS	11
2.2 TÜVEMASSI AASTANE PRODUKTSIOON	14
2.3 PUUDE MAAPEALSE BIOMASSI SÜSINIKU VARUD	18
2.4 SÜSINIKU SIDUMINE PUUDE AASTASES PRODUKTSIOONIS.....	19
KOKKUVÕTE	21
SUMMARY	23
VIIDATUD ALLIKAD	25
LISAD	30
LISA 1. LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ SALVESTAMISEKS JA ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS NING JUHENDAJA KINNITUS LÕPUTÖÖ KAITSMISELE LUBAMISE KOHTA	31

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on üheks suurimaks globaalseks keskkonnaprobleemiks kliimamuutused, mis on tingitud peamiselt süsihappegaasi (CO₂) kontsentratsiooni pidevast tõusust atmosfääris (Foley *et al.* 2005). Aastal 2017 hoiatasid rohkem kui 15 000 teadlast 184 erinevast riigist inimkonda pöördumatute muutuste eest, juhul kui kasvuhoonegaaside emissioon jätkub samas tempos (Ripple *et al.* 2017). Maakasutusest pärinev süsihappegaasi hulk moodustab umbes 35% CO₂ kontsentratsiooni tõusust atmosfääris (Foley *et al.* 2005).

Kliimamuutuste leevendamise seisukohalt on oluline nii süsiniku (C) emissiooni vähendamine kui ka selle efektiivsem sidumine erinevates ökosüsteemides. Maismaa ökosüsteemidest on boreaalsed ning hemiboreaalsed metsad ühed olulisemad C sidujad (Goodale *et al.* 2002, Gough *et al.* 2008; Pan *et al.* 2011), neis seotakse C nii puude biomassi (Uri *et al.* 2012) kui ka mulda (Hartmann *et al.* 2013). Kui metsades kokku on hinnanguliselt 77% maismaa ökosüsteemide C varust (Watson *et al.* 2000; Neumann *et al.* 2015), siis boreaalsetes metsades on üle 49% metsaökosüsteemide C varust (Dixon *et al.* 1994; Peng *et al.* 2008). Seega on metsadel väga oluline roll globaalses C ringes (Köhl *et al.* 2015; Torga 2016), kuid tingituna nende suurest varieeruvusest ning liigilisest mitmekesisusest, on ka nende C sidumise võime väga varieeruv. Kuna metsade C uuringud on enamasti töömahukad ning sageli ka keerulised, siis on andmed paljude metsatüüpide C sidumise ning varude kohta jätkuvalt puudulikud (Pilli *et al.* 2013).

Seoses väga kiire C sisalduse tõusuga atmosfääris on sõlmitud mitmeid kliimaleppeid (1997. a. Koyoto ja 2015. a. Pariisi kliimalepe) ning nendest lepetest tulenevalt on ka Eestil kohustus esitada regulaarselt riiklikke kliimaaruandeid. Samuti peavad riigid raporteerima muutustest metsade C varudes esitatavas LULUCF (Land use, land-use change and forestry) aruandes. Raporteeritavad andmed peaksid aga põhinema teadusuuringutel ja regionaalsetel biomassi ning C mudelitel, need aga Eestis siiani praktiliselt puuduvad.

Ka Eestis on erinevate puistute C ringe uurimine jätkuvalt aktuaalne valdkond metsateaduses. Probleem on aga selles, et Eesti metsad on väga heterogeensed ja see teeb üldiste regionaalsete C mudelite koostamise keeruliseks. Siiani on läbi viidud küll mitmeid uuringuid mõningates metsaökosüsteemides (Varik *et al.* 2015; Uri *et al.* 2017; 2019), kuid need ei kata kaugeltki kogu Eesti metsade suurt mitmekesisust.

Männikute biomassi ja C sidumise uurimine on siinjuures olulisel kohal, sest statistilise metsainventeerimise (SMI) andmetel on Eestis kõige rohkem männi enamusega puistused. Männikud moodustavad 31,4% puistute pindalast ja ligi 37% tagavarast (Aastaraamat Mets 2017). Kõige rohkem kasvab Eestis männikuid just palumetsades (41,3% männikutest) (Aastaraamat Mets 2017), mistõttu C varude ning voogude hindamine palumännikutes on suurima rakendusliku tähtsusega. Männikute biomassi ja C varusid ning voogusid on varasemalt uuritud mõnedes lõputöodes (Uri 2016; Buht 2017; Silm 2018), samuti hiljuti ilmunud teadusartiklites (Kriiska *et al.* 2019; Uri *et al.* 2019).

Käesoleva magistritöö peamiseks eesmärgiks oli hinnata erivanuseliste palumännikute maapealset biomassi ja selle fraktsionaalset jaotust, samuti puistute jooksva aasta produktsiooni. Lisaks selgitati puudes seotud C allokatsiooni erinevate fraktsioonide lõikes ning aastast C sidumist puistu maapealses biomassis.

Lõputöö autor võttis aktiivselt osa väli- ja laboratoorsetest töödest, samuti viis läbi andmete analüüsi.

1. METOODIKA

1.1 Katsealad

Käesolev magistritöö on osa Keskkonnainvesteeringute Keskuse poolt toetatud uurimisprojektist, „Süsinikubilanss palumännikute vanusereas“, mille raames hinnati C varusid ja voogusid erivanuselistes palumännikutes. Projekti täitmiseks valiti välja 10 erinevas vanuses männikut, neist kasutati käesolevas töös kuue puistu andmeid (Tabel 1). Väljavalitud puistutesse rajati proovitükid, nende pindala jäi vahemikku 0,06-0,16 ha. Puistud asuvad RMK Tartumaa ja Põlvamaa metskondades ning Järvelja Öppe- ja Katsemetskonnas. Kõige noorem käesolevas töös uuritud puistu oli 17-aastane ja kõige vanem 109- aastane. Puistud kuulusid Ia – II boniteeti ja kasvasid peamiselt mustika kasvukohatüübis või jänesekapsa-mustika alltüübis (Tabel 1). Vältimaks servaeefekti paigutati proovitükid alati võimalikult eraldise keskele. Proovitükkidel mõõdeti kõikide puude diameetrid, ning vähemalt 10 puu kõrgused (Tabel 1).

Tabel 1. Katsealade peamised takseertunnused. Pind. – proovitüki pindala, $D_{1,3}$ – puistu keskmine rinnasdiameeter, H – puistu keskmine kõrgus, G – puistu rinnaslõikepindala, N – puistu tihedus

Kvartal	Pind. (ha)	Vanus (a)	$D_{1,3}$ (cm)	H (m)	G ($m^2 ha^{-1}$)	N ($tk ha^{-1}$)	Kasvukohatüüp
AH017	0,06	17	8.9	8.5	18.3	2944	jk-ms
ME095	0,12	42	17.9	19.7	35.6	1417	jk-ms
AH007	0,16	62	19.9	20	29.2	938	ms
ME088	0,16	74	26.8	24.9	39.5	700	ms
JS229	0,16	80	29.5	26.1	31.6	463	ms
JS222	0,16	109	29.3	29.5	29.9	444	ms

1.2 Mudelpuude maapealse osa biomassi hindamine

Puistute maapealse osa biomassi hindamiseks kasutati mudelpuude meetodit (Bormann ja Gordon, 1984; Lõhmus *et al.* 1996; Becker 2012; Uri *et al.* 2012; 2014), mis annab üsna detailseid tulemusi, sh biomassi jagunemisest erinevatesse fraktsioonidesse, kuid on üsna töömahukas.

Kluppimisandmete põhjal koostati MS Excel keskkonnas puude rinnasdiameetri jaotus kõikidele katsealadele. Igast puistust valiti selle jaotuse põhjal välja vähemalt 5 erinevat mudelpuud. Sobivaid mudelpuid valiti üle kogu eraldise ja välditi metsaservas kasvavate puude valimist.

Mudelpuud langetati võimalikult maapinna lähedalt, seejärel mõõdeti puu pikkus ja elusvõra algus. Mudelpuu tüvi ja latv jagati sektsioonideks: esimene tüvesektsioon 0-1,3 m ja teine 1,3 kuni alusvõra alguseni. Elusvõra jagati kolmeks või neljaks võrdse pikkusega sektsioonideks: suuremate puude puhul neljaks sektsiooniks ja väiksemate puhul piirduti kolme sektsiooniga. Kõik tüvesektsioonid kaaluti metsas, mõõdeti ka iga sektsiooni pikkus ning sektsiooni alumine diameeter. Peale kaalumist saeti sektsioonidest analüüsikettad tüvepuidu ja -koore osakaalu, samuti kuivaine sisalduse määramiseks. Aastarõngaste mõõtmiseks ja tüvepuidu produktsiooni hindamiseks võeti alati ka üks analüüsiketas tüve keskelt. Oksad kaaluti sektsioonide kaupa ja igast võrasektsioonist valiti üks keskmise diameetri ja pikkusega mudeloks, mis toimetati edasiseks fraktsioneerimiseks ja analüüsiks laboratooriumisse. Kõik puu kuivanud oksad kaaluti ühe fraktsioonina ning ka sellest fraktsioonist võeti üks mudeloks

Laboris eraldati igalt mudeloksalt jooksva aasta okkad, jooksva aasta võrsed, vanemad okkad ning oksad. Kõik eraldatud fraktsioonid kaaluti eraldi, neist võeti kuivmassi ning C sisalduse määramiseks alamproov (10-40 g). Alamproov kaaluti täpsusega 0,01 g ja kuivatati kuivatusahjus 70 °C juures püsiva kaalu saavutamiseni, seejärel kaaluti uuesti täpsusega 0,01 g.

Kõik väli- ja labortöödel kogutud andmed sisestati MS Exceli keskkonda, kus arvutati välja mudelpuude erinevate osade kuivmassid, nende kokkuliitmisel saadi mudelpuu kogu maapealse osa biomass (kuivaines). Saadud tulemuste põhjal koostati regressioonivõrrandid, mis

kirjeldasid puude kogu maapealse osa biomassi või tüvemassi sõltuvust rinnasdiameetrist. Kasutati allomeetrilist seost üldkujul (1). Erinevad autorid on kasutanud sama valemit oma uurimustöodes, sest astmefunktsioon kirjeldab hästi sõltuvust rinnasdiameetri ja puu biomassi vahel (Hytönen *et al.* 1995; Lõhmus *et al.* 1996; Uri *et al.* 2002; 2007; 2009; 2012).

$$y = ax^b \quad (1)$$

kus, y – on puu maapealse osa biomass või tüvemass (g)

x – puu rinnasdiameeter (cm)

a ja b – võrrandi parameetrid

Regressioonvõrrandiga arvutati igale proovitükil kasvavale puule tema hinnanguline maapealse osa biomass. Puude biomasside liitmisel leiti proovitükil kasvav summaarne puude biomass, selle jagamisel proovitüki pindalaga saadi puistu maapealne biomass hektari kohta ($t\ ha^{-1}$). Erinevate fraktsioonide biomass arvutati kogu maapealsest biomassist mudelpuude keskmise fraktsionaalse jaotuse (%) põhjal.

Süsiniku sisalduse määramiseks proovid kuivatati ja toimetati laborisse edasiseks analüüsiks. Analüüsid viidi läbi EMÜ Taimebiokeemia Laboratooriumis.

1.3 Puude aastase produktsiooni hindamine

Tüvepuidu aastase juurdekasvu hindamiseks võeti mudelpuu iga tüvesektsiooni alumisest osast analüüsiketas. Kõige alumise sektsiooni kettal (nn. „nullketas“) mõõdeti kõikide aastarõngaste laiused, mis ühtlasi võimaldas loendada aastarõngad koorest kuni säsini ja hinnata puude vanust. Viimase viie aastarõnga laiuse mõõtmiseks võeti analüüsikettad lisaks rinnakõrguselt (1,3 m), tüve keskelt, elusvõra algusest ning võra keskelt. Võimaldamaks edukalt analüüsikettaid skaneerida, kuivatati nad toatemperatuuril ja seejärel lihviti, samuti mõõdeti analüüsitava ketta raadius. Aastarõngaste mõõtmiseks kasutati programmi WinDendro (Regent Instruments Inc.), mille mõõtmistäpsus oli 0,001 mm. Tüvepuidu aastane juurdekasv arvutati valemi (2) põhjal

(Whittaker ja Woodwell 1968).

$$W_i = W_o(r^2 - (r-i)^2)/r^2 \quad (2)$$

Kus, W_i – puidu kuivaine aastane juurdekasv (g),

W_o – puidu kuivmass (g),

r – analüüsitava ketta raadius (mm),

i – kolme viimase aasta keskmine aastarõnga laius (mm).

Tüvekoore produktsiooni hindamisel eeldati, et koore- ja puidufraktsiooni juurdekasv on proportsionaalne, st arvutati tüvepuidu aastase produktsiooni osakaal kogu tüvepuidu biomassist ning sama suhtarvu kasutati tüvekoore produktsiooni leidmiseks (Uri *et al.* 2017).

Mudelpuude fraktsioneerimisel eraldati viimase aasta okkad ja jooksva aasta võrsed ning nende fraktsioonide biomass on produtseeritud viimase (jooksva) aasta vältel, seega on jooksva aasta okaste ning võrsete produktsioon võrdne nende biomassiga.

Okste produktsiooni hindamiseks kasutati üldistust, et aastane juurdekasv moodustab ligikaudu 10% nende biomassist (Uri *et al.* 2012).

2. TULEMUSED JA ARUTELU

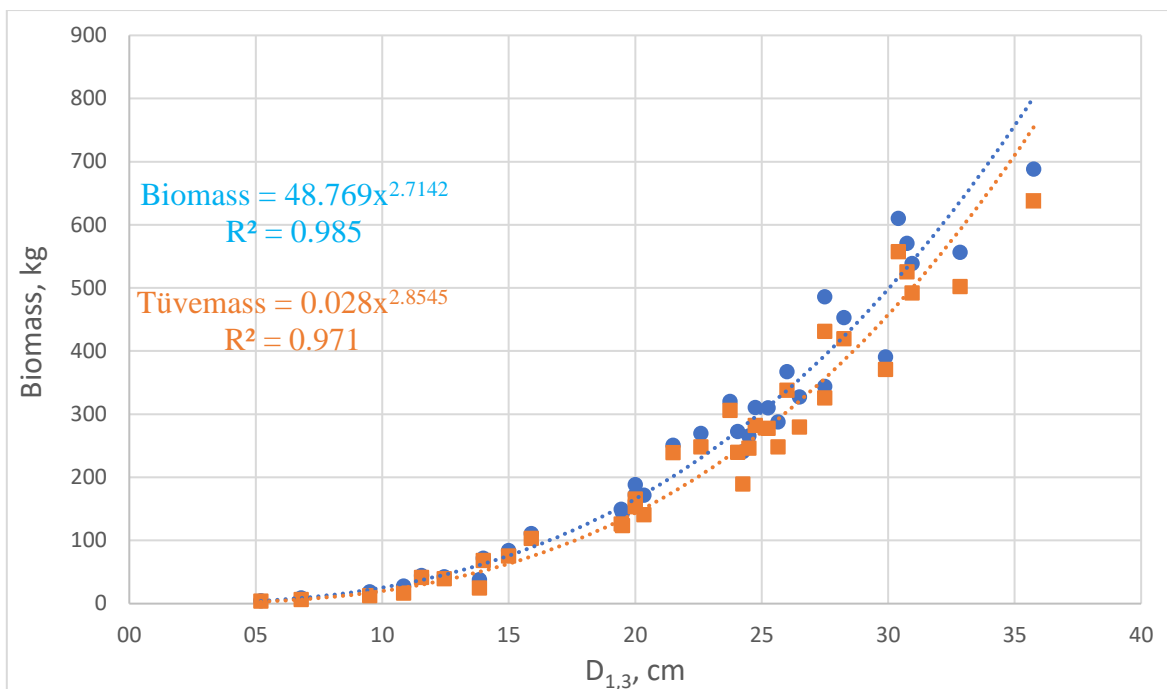
2.1 Puistute maapealne biomass

On üldteada, et allomeetrilised seosed puu dimensioonide ja tema biomassi vahel on reeglina väga head (Hytönen *et al.* 1995; Lõhmus *et al.* 1996; Telenius 1999). Ka käesolevas töös olid seosed puu rinnasdiameetri ja tema maapealse biomassi vahel tugevad, seda näitab kõrge determinatsioonikordaja väärtus, mis jäi erinevates puistutes vahemikku 0,94 – 0,99 (Tabel 2). Ka olid kõik seosed statistiliselt olulised ($P < 0,01$).

Tabel 2. Mudelpuude maapealset biomassi ja tüvemassi kirjeldava regressioonivõrrandi (1) parameetrid ja determinatsioonikordajad (R^2). Kõikidel juhtudel oli $P < 0,01$

Vanus (a)	Maapealne biomass			Tüvemass		
	a	b	R^2	a	b	R^2
17	123,16	2,221	0,99	149,64	1,957	0,99
42	73,624	2,558	0,98	123,58	2,324	0,97
62	123,57	2,425	0,99	150,36	2,323	0,99
74	428,88	2,018	0,95	222,67	2,191	0,94
80	194,84	2,332	0,94	260,81	2,218	0,95
109	335,58	2,137	0,94	361,57	2,091	0,93

Lisaks koostati kõikide analüüsitud mudelpuude andmete ($n=35$) põhjal üldine maapealse biomassi ja tüvemassi mudel (Joonis 1). Mõlemal juhul kirjeldab nende masside sõltuvust puude rinnasdiameetrist asmfunktsioon ja andmete hajuvus on suhteliselt väike.



Joonis 1. Maapealse biomassi ja tüvemassi sõltuvus rinnasdiameetrist männi mudelpuude põhjal (n=35).

Kõige suurem (245 t ha^{-1}) oli puistu maapealne biomass 80-aastases männikus. Vanimas uuritud puistus (109 a.), oli see väiksem (204 t ha^{-1}), mis tõenäoliselt oli ühelt poolt tingitud väiksemast puistu tihedusest (Tabel 1), kuid teisalt oli ka keskmine puu biomass vanemas puistus väiksem (vastavalt $0,53$ ja $0,46 \text{ t ha}^{-1}$). Saadud tulemus on heas kooskõlas varasema uurimustööga, kus 110-aastase mustika-kõdusoo männiku maapealseks biomassiks hinnati 219 t ha^{-1} (Agarmaa 2015). Ootuspäraselt oli kõige väiksem maapealne biomass ($53,6 \text{ t ha}^{-1}$) noorimas (17 a.) männikus. Keskealises puistus (42 a.) oli maapealne biomass $174,3 \text{ t ha}^{-1}$, mis on lähedane käesoleva uurimustöö autori bakalaauruse töös 45-aastases männikus saaduga (185 t ha^{-1}) (Uri 2015). Samasse ritta sobitub hästi ühes varasemas töös leitud 35-aastase mustikamännikus puude maapealne biomass $132,3 \text{ t ha}^{-1}$ (Silm 2018).

Tabel 3. Maapealse biomassi ($t\ ha^{-1}$) jagunemine fraktsioonidesse erivanuselistes palumännikutes. BM – fraktsiooni biomass

Fraktsioon	Puistu vanus (a)											
	17		42		62		74		80		109	
	BM	%	BM	%	BM	%	BM	%	BM	%	BM	%
Tüvi	36,9	68,9	149,0	85,5	156,8	90,7	207,9	90,6	225,4	91,9	189,0	92,5
sh tüvepuut	31,6	54,5	134,7	75,9	144,2	82,6	195,0	84,4	208,3	84,3	179,6	87,6
sh tüvekoor	5,3	14,4	14,2	9,5	12,6	8,0	12,9	6,2	17,1	7,6	9,4	5,0
Oksad	8,1	15,0	12,2	7,0	9,2	5,3	11,9	5,2	13,5	5,5	10,6	5,2
Võrsed	1,0	1,8	0,7	0,4	0,4	0,2	0,8	0,3	0,4	0,2	0,4	0,2
Vanad okkad	2,8	5,1	2,1	1,2	2,1	1,2	2,8	1,2	2,0	0,8	1,5	0,8
Viimase aasta okkad	3,6	6,8	2,4	1,4	2,2	1,3	3,3	1,4	2,4	1,0	1,7	0,8
Kuivanud oksad	1,2	2,3	7,9	4,5	2,2	1,3	2,7	1,2	1,6	0,6	1,1	0,5
Kokku	53,6	100	174,3	100	173,0	100	229,4	100	245,2	100	204,3	100

Kõige suurema osa puistute maapealsest biomassist moodustasid muidugi tüved (koorega). Tüvemassi osakaal maapealsest biomassist oli kõige väiksem nooremas ja suurim kõige vanemas puistus (Tabel 3).

Kõige nooremas puistus moodustasid oksad 15% kogu maapealsest biomassist, okkad ja oksad kokku ligi ühe viiendiku. Noortele puudele ongi iseloomulik suur okste ja okaste (lehtede) osakaal maapealsest biomassist; 5-aastases männinoorendikus moodustasid okkad kolmandiku ja oksad veerandi puude maapealsest biomassist (Uri *et al.* 2019). Hiljem, teatud vanusest alates, nende fraktsioonide osakaal saavutab stabiilse taseme ja jääb keskealistes ja vanemates metsades samasse suurusjärku. See kajastub ka käesoleva töö tulemustes, kus puistutes vanuses 42 - 109 a. nii okste kui ka okaste osakaal maapealsest biomassist oli sarnane (Tabel 3). Kui kõige nooremas (17 a.) puistus oli oksti 15% maapealsest biomassist, siis vanemates puistutes jäi see väga stabiilselt vahemikku 5,2-5,5%, olles vaid pisut suurem (7%) keskealises (42 a.) männikus (Tabel 3). Männiku võrastik saavutab stabiilse biomassi tõenäoliselt vanusevahemikus 20 - 40 a. ja edasine biomassi suurenemine toimub peamiselt tüvemassi arvelt (Tabel 3). Kuigi suhtarvuna oli okste osakaal suurim noorimas puistus, siis koguseliselt oli neid kõige rohkem 80-aastases männikus.

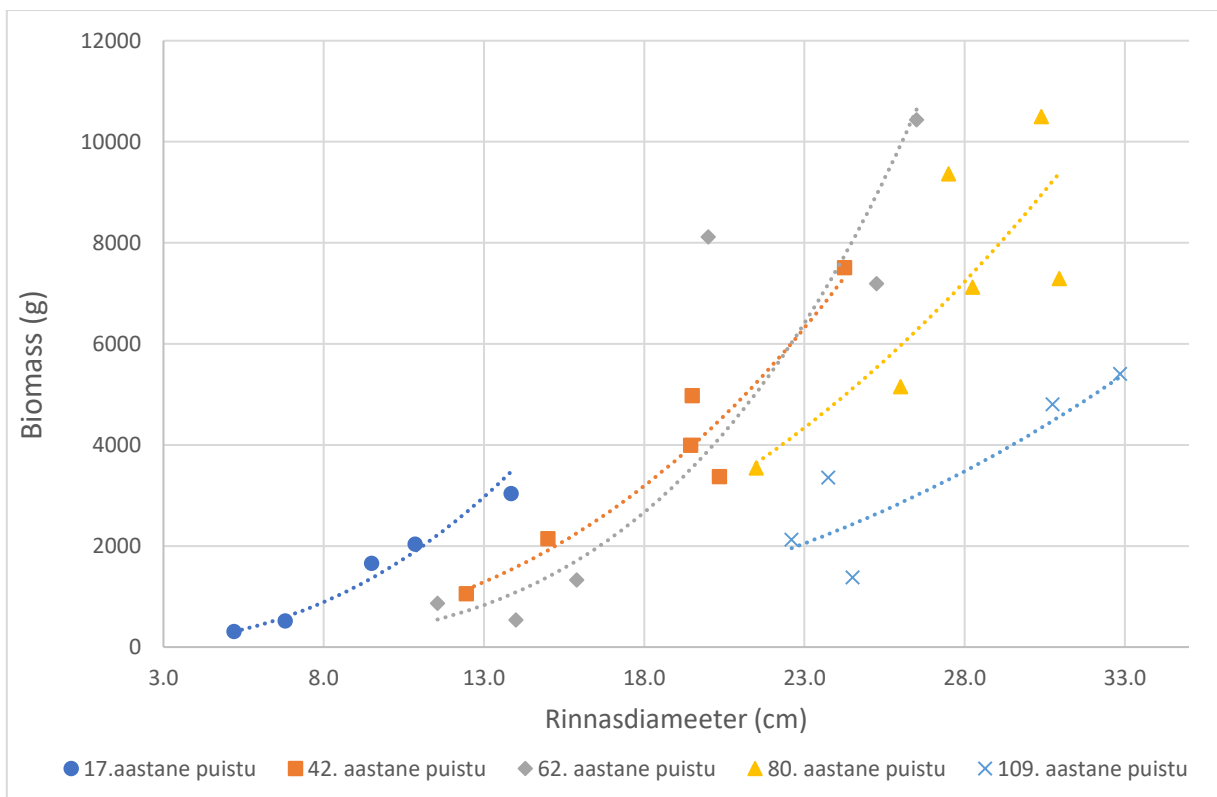
Käesolevas uurimustöös käbisid eraldi fraktsioonidena ei käsitletud ja biomassi arvutamisel arvesse ei võetud. Arvestades käbide väikest osakaalu kogu puude biomassis, ei tekita selle fraktsiooni ignoreerimine märkimisväärset viga.

Kuivanud oksi oli kõige rohkem keskealises (42. a) puistus, kus need moodustasid 4,5% puistu maaapealsest biomassist. Vanemates puistutes kuivade okste osakaal langes, olles kõige väiksema osakaaluga vanimas puistus.

Tüvekoore osakaal maaapealses biomassis oli üldiselt langeva trendiga: noorimas puistus (17 a.) oli koore osakaal 14,3% tüvemassist ja vanimas 4,9%.

2.2 Tüvemassi aastane produktsioon

Kuna keskealiste ja vanemate puistute puhul on tüvemass suurim biomassi fraktsioon, siis on tüvepuidu produktsioon üks olulisemaid tegureid metsade C sidumise seisukohalt, samuti on tüvi metsapuude puhul kõige suurema majandusliku väärtusega.



Joonis 2. Mudelpuude tüvepuidu jooksva aasta produktsiooni rinnasdiameetri vahelist seost kirjeldav regressioon (1). Regressioonivõrrandite parameetrid on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Mudelpuude tüvepuidu aastast juurdekasvu kirjeldava regressioonivõrrandi (1) parameetrid ja determinatsioonikordajad (R^2).

Vanus (a)	Parameetrid		
	a	b	R^2
17	5,158	2,477	0,98
42	1,007	2,788	0,93
62	0,086	3,577	0,83
80	1,266	2,595	0,74
109	0,117	3,105	0,76

Kõikidele uuritud puistutele koostati eraldi regressioonvõrrand, mis kirjeldas aastast tüvepuidu produktsiooni sõltuvust puude rinnasdiameetrist (Joonis 2; Tabel 4). Vaid 74 a. puistu puhul ei õnnestunud koostada statistiliselt usaldusväärset seost andmete suure hajuvuse tõttu. Seepärast rakendati 74 a. männikule natuke vanema (80 a.) puistu regressioonivõrrandit. Kõnealused puistud kasvavad samas piirkonnas ning on sarnaste kasvukohatingimustega.

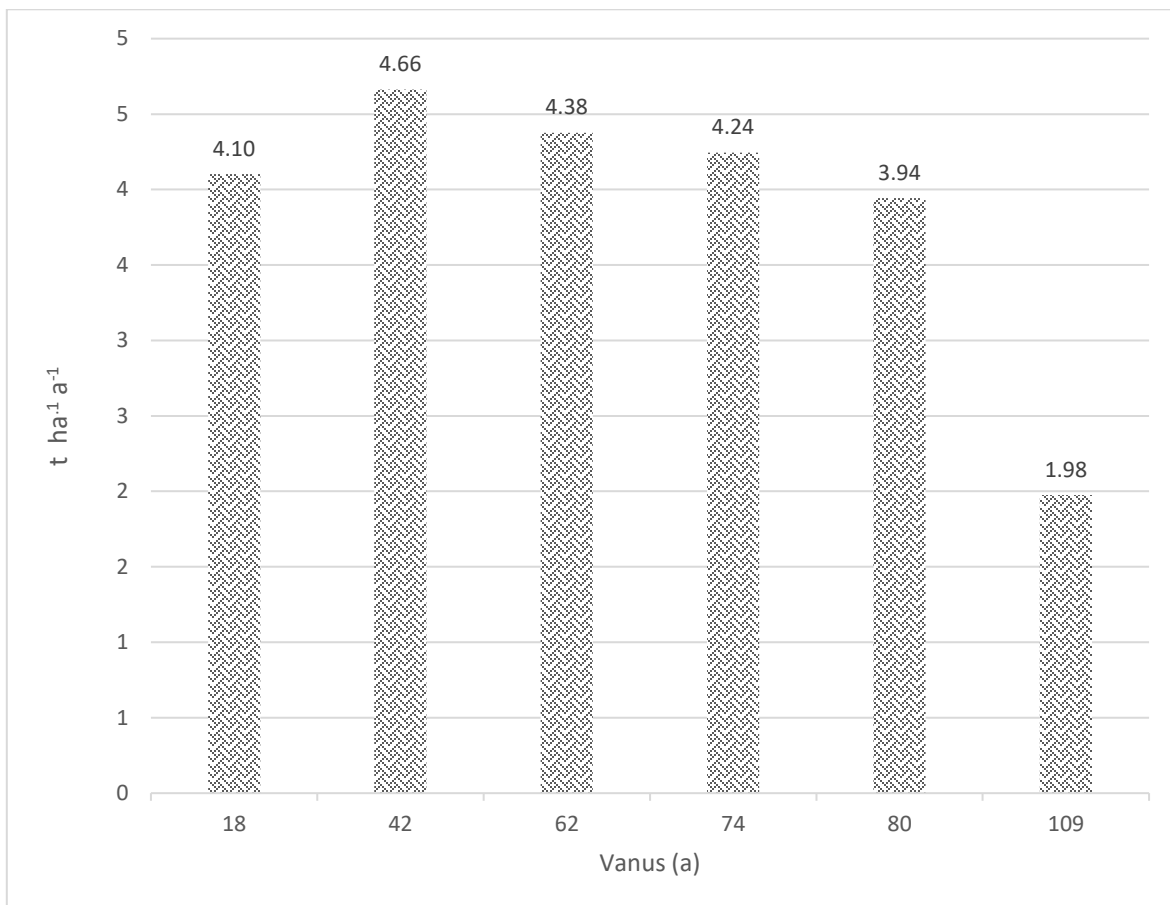
Kõige suurem oli uuritud männikutest aastane tüvepuidu produktsioon ($4,66 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) 42-aastases puistus. See tulemus on heas kooskõlas A. Tjurini männikute kasvukäigutabelis tooduga, kus tüvepuidu jooksev juurdekasv 40 a. vanuses I boniteedi puistus on massiühikuteks teisendatuna $4,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (kasutatud tüvepuidu tihedust 432 kg m^{-3}) (Metsataksaatori teatmik 1971). Kõrge produktsiooniga oli ka 80-aastane puistu ($3,94 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), ületades samuti eespool mainitud kasvukäigutabeli vastavat väärtust ($3,24 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Kuna puistu juurdekasv oleneb suurel määral erinevatest tingimustest (kasvukoht, puistu tihedus, majandamine jne), siis võivad tulemused erinevates, sama vanusega puistutes oluliselt varieeruda. Näiteks Belgias läbiviidud uurimustöös saadi 73-aastase hariliku männi puistu aastaseks tüvede produktsiooniks vaid $2,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, mis on oluliselt väiksem käesolevas töös leitud (Xiao *et al.* 2003). A. Tjurini kasvukäigutabelites on 70-aastase I boniteedi männikute tüvepuidu jooksev juurdekasv $3,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Metsataksaatori teatmik 1971). Eestis hiljuti läbi viidud uurimistöös hinnati 90 a. mustika kasvukohatüübis kasvava männiku aastaseks maapealse puitunud biomassi (tüvi+oksad) produktsiooniks $2,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja okaste produktsiooniks $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Kriiska *et al.* 2019).

Kõige nooremas puistus (17 a.) oli tüvepuidu aastane produktsioon $4,10 \text{ t ha}^{-1}$, mida tuleb lugeda kõrgeks. Kümme aastat vanema (27 a.) männiku aastaseks tüvepuidu produktsiooniks hinnati $3,9 \text{ t ha}^{-1}$ (Lõhmus 2018), mis jääb samasse suurusjärku käesolevas töös hinnatud nooremate puistute produktsiooniga.

Töös leitud 62 a. männiku tüvepuidu juurdekasv ($4,4 \text{ t ha}^{-1}$) aga praktiliselt kokku langev Eestis läbi viidud varasemas uurimuses (samuti 62 a. palumännik) saaduga ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$) (Kurvits 1999).

Et võrrelda saadud tulemusi metsanduses kasutatavate mahuühikutega (m^3) on ühikute teisendamiseks vaja teada tüvepuidu tihedust. Käesolevas töös kasutati keskmist absoluutkuiva männipuidu tihedust 432 kg m^{-3} (Pikk ja Kask 2014). Saadud tulemuste põhjal jäi aastane tüvepuidu juurdekasv uuritud puistutes vahemiku $4,6 - 10,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Madalaim oli käesolevas töös uuritud puistutest tüvepuidu juurdekasv 109-aastases puistus ja see on ka heas kooskõlas Tjurini männipuistute kasvukäigutabeli andmetega, kus 110- aastase I bon männiku juurdekasv on $3,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Võrdluseks, Eestis männikute keskmine aastane juurdekasv on $4,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Aastaraamat Mets 2017).



Joonis 3. Erineva vanusega palumännikute aastane tüvepuidu produktsioon ($\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

2.3 Puude maapealse biomassi süsiniku varud

Erinevates arvutustes ja hinnangutes kasutatakse tüvepuidu ja puu teiste fraktsioonide C varude arvutamiseks enamasti C sisaldust 50% kuivainest (Gower *et al.* 2001; Kenina *et al.* 2018). Samas on teada, et fraktsioonide C sisaldused erinevate puuliikide lõikes võivad varieeruda vahemikus 44% – 56% (Bert & Danjon 2006; Zhang *et al.* 2009) ning seetõttu määratakse uurimistöodes originaalandmete saamiseks C sisaldus erinevatest fraktsioonidest sageli laboratoorselt. Varasemas magistritöös (Karu 2005) varieerus C sisaldus männi biomassi erinevates fraktsioonides vahemikus 48,4 – 52,9%.

Käesolevas töös kasutati Eesti palumännikute kohta leitud C sisaldusi (Uri *et al.* 2019). Need C sisaldused varieerusid erinevate fraktsioonide lõikes: madalaim oli see tüvekoos (45,4%) ja kõige kõrgem jooksva aasta okastes (49,8%). Erinevate fraktsioonide keskmiseks C sisalduseks oli aga 49%, mis on ainult pisut väiksem väärtus üldkasutatavast 50% sisaldusest. Seega, kasutates üldlevinud 50% sisaldust männikute C varude arvutamisel, ei tooks see endaga kaasa märkimisväärset ülehinnagut.

Kõige suurem C varu asus tüvedes, kuna nende osakaal oli kogu maapealsest biomassist suurim. Seda eriti vanemates puistutes, kuna vananedes kasvab tüvemassi osatähtsus kogu maapealses biomassis (Tabel 3). Suurim oli seotud C varu 80-aastase puistu tüvedes (98,9 t C ha⁻¹), mis moodustas 85,1% kogu puude maapealses osas seotud C varust (Tabel 5). Aastases okka produktsioonis seoti rohkem süsiniku, kui seda oli vanades okastes akumulunud. Puistu vananedes langes ka okaste osakaal puude C varust: kui 17-aastases puistus oli okastes 12,5%, siis 109-aastases vaid 1,6% puude maapealsest C varust.

Tabel 5. Süsiniku varud (t C ha⁻¹) erivanuseliste männikute maapealse biomassi erinevates fraktsioonides

Fraktsioon (t C ha ⁻¹)	Vanus, a					
	17	42	62	74	80	109
Tüvepuut	15,0	63,9	68,5	92,5	98,9	85,2
Tüvekoor	2,5	6,7	6,0	6,1	8,1	4,5
Oksad	4,0	6,0	4,5	5,9	6,6	5,2
Vanad okkad	1,4	1,0	1,0	1,4	1,0	0,8
Jooksva aasta võrsed	0,5	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2
Jooksva aasta okkad	1,8	1,2	1,1	1,7	1,2	0,9
Maapealne	25,2	79,3	81,3	108,0	116,0	96,7

2.4 Süsiniku sidumine puude aastases produktsioonis

Jooksva aasta produktsioonis seotud C voo hindamisel võeti ühelt poolt aluseks eespool leitud tüvepuidu aastane produktsioon, viimase aasta võrsete ja okaste aastane produktsioon. Teisalt kasutati seotud C koguse arvutamiseks C sisaldust männi erinevates fraktsioonides (Uri *et al.* 2019). Kogu puistu maapealses produktsioonis seotud C koguse hindamiseks liideti kokku erinevates fraktsioonides seotud C kogus (Tabel 6).

Tabel 6. Erivanuseliste männikute fraktsioonide jooksva aasta produktsioonid (t ha⁻¹ a⁻¹) ning selles seotud süsinik (t C ha⁻¹ a⁻¹)

Produktsioon	C % *	Vanus, a											
		17		42		62		74		80		109	
		Prod	Seot C	Prod	Seot C	Prod	Seot C	Prod	Seot C	Prod	Seot C	Prod	Seot C
Tüvepuut	47,46	4,10	1,87	4,70	2,18	4,40	2,05	4,20	1,96	3,90	1,81	2,00	0,92
Tüvekoor	47,47	0,59	0,28	0,44	0,21	0,35	0,17	0,26	0,12	0,30	0,14	0,10	0,05
Viimase aasta võrsed	49,69	0,98	0,49	0,68	0,34	0,41	0,20	0,80	0,40	0,43	0,21	0,36	0,18
Viimase aasta okkad	49,87	3,63	1,81	2,43	1,21	2,22	1,11	3,31	1,65	2,40	1,20	1,72	0,86
Oksad	49,27	0,81	0,40	1,22	0,60	0,92	0,45	1,18	0,58	1,35	0,67	1,05	0,52
Kokku		10,1	4,8	9,5	4,5	8,3	4,0	9,8	4,7	8,4	4,0	5,2	2,5

* Uri *et al.* 2019

Juba üsna noored männikud seovad maapealses biomassis märkimisväärses koguses süsiniku (4,85 t C ha⁻¹ a⁻¹) (Tabel 6). Keskealistes männikutes on puistute aastane produktsioon reeglina kõrge ja sellega ka C sidumine suur ning sama trend ilmnes ka käesolevas uurimustöös. Puistute vananedes nende kasvukiirus ja C sidumine hakkab vähenema. Vanimas uuritud puistus (109 a.) oli aastane C sidumine enam kui kaks korda väiksem võrreldes keskealiste puistutega. Siinkohal tuleb arvestada, et puistute tegelik summaarne C sidumine on suurem, kui käesolevas töös hinnatud, sest lisandub puude maa-aluses osas seotud C. Lisaks võib männikutes arvestatavas suurusjärgus siduda süsinikku alustaimestik (puhmad, samblad) (Uri *et al.* 2019).

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö peamine eesmärk oli hinnata erineva vanusega palumännikute maaapealse osa biomassi ning selle fraktsionaalset jaotust, samuti selles akumuliseerunud süsiniku (C) kogust. Lisaks hinnati puistute aastast biomassi produktsiooni ja selles seotud C voogu. Käesoleva magistritöö on osa Keskkonnainvesteeringute Keskuse poolt toetatud projektist „Süsinikubilanss palumännikute vanuseraas“.

Puistute maaapealse biomassi hindamiseks rakendati mudelpuude meetodit. Töös kasutati kokku 35 erineva mudelpuu andmeid, mis pärinesid kuuest erineva vanusega (vahemikus 17 – 109 aastat) palumännikust.

Uuritud männikutest oli suurim maaapealne biomass keskealises (74 a.) ja valmivas (80 a.) puistus, vastavalt 229 t ha⁻¹ ja 245 t ha⁻¹. Vanimas uuritud männikus (109 a.) oli maaapealne biomass väiksem, ulatudes 204 t ha⁻¹.

Kõige suurema osakaaluga oli erinevatest fraktsioonidest tüvemass, mille osakaal suurenes puistu vananedes. Noorimas uuritud puistus (17 a.) moodustas tüvemass 69% kogu puude maaapealsest biomassist ja vanimas (109 a.) 92,5%.

Koos biomassi suurenemisega kasvasid ka palumännikute maaapealses biomassis akumuliseerunud C varud. Suurimad C varud olid 74- ja 80-aastases puistus, vastavalt 107 t C ha⁻¹ ja 114 t C ha⁻¹.

Uuritud männikute aastane tüvepuidu produktsioon jäi vahemikku 2 – 4,7 t ha⁻¹ a⁻¹, olles suurim 42-aastases puistus. Tüvemassi produktsiooni dünaamika näitas, et see püsis kõrge kuni puistu 74 a. vanuseni ja hakkas seejärel langema. Kõige vanemas puistus (109 a.) oli aastane tüvemassi produktsioon 2 t ha⁻¹ a⁻¹.

Nooremates männikutes moodustavad puistu aastasest produktsioonist olulise osa okkad ja võrsed. Kogu maaapealse biomassi aastane produktsioon oli kõrgeim noorimas (17 a.) puistus,

kus see ulatus $10,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Produktiivsed olid ka keskealised ja valmivad puistud (42 a. ja 74 a.), kus produktsioon ulatus vastavalt $9,4$ ja $9,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Vanimas männikus produktsioon langes ja oli ligi poole väiksem ($5,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) kui nooremates puistutes.

Kuna aastane C sidumine sõltub otseselt puistu produktsioonist, siis järgis C sidumise trend erineva vanusega puistutes nende produktsioonidünaamikat. Aastane C sidumine oli kõige suurem 74-aastases puistus ($4,7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ja madalaim 109-aastases puistus ($2,5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Käesoleva töö tulemused võimaldavad osaliselt selgitada palumännikute maapealses biomassis ja aastases produktsioonis seotud C kogust ning seeläbi hinnata nende puistute rolli metsade C sidumisel. Tervikliku pildi saamiseks puistute C sidumisest on vajalik C bilansi koostamine, see aga eeldab kõikide puistu C voogude (sh. maa-aluse biomassi ning produktsiooni, mullahingamise jne.) hindamist. Metsade C sidumise selgitamiseks regionaalsel tasandil on vajalikud edasised C ringe uuringud erinevates metsaökosüsteemides.

SUMMARY

The main aim of the current thesis was to estimate above-ground biomass, fractional distribution and carbon (C) accumulation in Scots pine stands of different ages. Model tree method was used for estimation of above-ground biomass of pine stands. In total 35 model trees were selected from 6 different study sites. The age of studied stands varied between 17 – 109 years. Current study is part from extensive research project “Carbon dynamics in Scots pine stands of different ages”, supported by Estonian Environmental Investment Centre.

Largest above-ground biomass was found in 74-year-old and 80-year-old stands, 229 t ha^{-1} and 245 t ha^{-1} , respectively. In the oldest 109-year-old stand above-ground biomass was 204 t ha^{-1} .

Largest share of above-ground biomass was accumulated in stems and it's share increased with stand age. In the youngest 17-year-old and in the oldest 109-year-old stand stemwood made up to 69% and 92%, respectively.

Since increasing biomass in the stand leads increase of C storage in biomass, largest C storage was found also in 74-and 80-year old stands, 107 t C ha^{-1} ja 114 t C ha^{-1} , respectively.

Annual stemwood production varied between $2 - 4.7 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Highest annual biomass production was estimated for 42-year-old stand. Estimated production dynamics demonstrated high productivity of stands until 70-80 year and then production starts to decrease. In the oldest 109-year-old stand annual stemwood production was $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

In the younger stands current-year shoots and needles made up considerable proportion of above-ground biomass. Annual biomass production was highest in the youngest studied stand (17-year-old) where it reached up to $10.1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Also 42-year-old and 74-year-old stands were highly productive; 9.4 and $9.7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, respectively. Production was almost half times lower in oldest stand ($5.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) comparing to middle-aged and young stands.

Also annual C accumulation in biomass was highest in 74-year-old stand ($4.3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) and lowest in 109-year-old stand ($2.1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$).

Current study provides preliminary estimations of accumulated C storages in above-ground biomass as well as annual C accumulation in pine stands of different ages. For complete C budgets additional research is needed, including below-ground and understorey biomass estimation as well as soil respiration measurements. For regional C models further studies are needed in different forest ecosystems.

VIIDATUD ALLIKAD

- Aastaraamat Mets 2017. (Yearbook Forest 2017). /Koost. Keskkonnaagentuur. Toim. Raudsaar, M. Siimon, K-L. Valgepea, M. Tallinn: Keskkonnaagentuur. 292 lk.
- Agarmaa, M.** 2015. Mustika-kõdusoo kasvukohatüübi männikute (*Pinus sylvestris* l.) maaapealne biomass ja kuivenduse mõju puude jämeduskasvule. Magistritöö. Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 29 lk.
- Becker, H.** 2012. Lämmastiku vood ja varud hall-lepikus ja lageraie järgselt. Magistritöö. Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 41 lk.
- Bert, D., Danjon, F.** (2006). Carbon concentration variations in the root, stem and crown of mature *Pinus pinaster*. – *Forest Ecology and Management*. Vol. 222, pp. 279–295.
- Bormann, B. T., Gordon J. C.** (1984). Stand density effects in young red alder plantations: productivity, photosynthate partitioning and nitrogen fixation. – *Ecology*. Vol. 65, pp. 394–402.
- Buht, M.** 2017. Süsiniku varud erineva vanusega mustika kasvukohatüübi männikute (*Pinus sylvestris*) maaapealses biomassis. Bakalaureusetöö. Eesti Maaülikool. Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 24 lk.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., Wisniewski, J.** (1994) Carbon pools and flux of global forest ecosystems. – *Science*. Vol. 263, pp. 185–190.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, C., Ramankutty, N., Snyder, P. K.** (2005). Global consequences of land use. – *Science*. Vol. 309, No. 5734, pp. 570–574.
- Goodale, C.L., Apps, M.J., Birdsey, R.A., Field, C.B., Heath, L.S., Houghton, R.A., Jenkins, J.C., Kohlmaier, G.H., Kurz, W., Liu, S.R., Nabuurs, G.J., Nilsson, S., Shvidenko, A.Z.** (2002). Forest carbon sinks in the Northern Hemisphere. – *Ecological Applications*. Vol 12, No. 3, pp. 891–899.

- Gough C. M., Vogel, Christoph., Schmid, H., Curtis, P.** (2008). Controls on annual forest C storage: lessons from the past and predictions for the future. – *Bioscience*. Vol. 58, pp. 609–621.
- Gower, S.T., Krankina, O., Olson, R.J., Apps, M., Linder, S., Wang, C.** (2001). Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems. – *Ecological Applications*. Vol. 11, pp. 1395–1411
- Hartmann DL., Tank, A., Rusticucci, M.** (2013). IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. – *IPCC AR5*. pp. 31–39.
- Hytönen, J., Saarsalmi, A., Rossi, P.** (1995). Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. – *Silva Fennica*. Vol. 29, No. 2, pp. 117–139.
- Karu, H.** 2005. Süsiniku akumulatsioon Narva karjääri männikultuuride aegreas. Magistritöö. Tartu Ülikool, Loodus- ja tehnoloogiateaduskond, Tartu Ülikooli Ökoloogia- ja Maateaduste Instituut, Ökofüsioloogia õppetool. 62 lk. Tartu
- Kenina L., Elferts D., Baders E., Jansons A.** (2018). Carbon pools in hemiboreal over-mature Norway Spruce stands. – *Forests*. Vol 9, pp. 435.
- Köhl, M., Lasco, R., Cifuentes, M., Jonsson, Ö., Korhonen, K.T., Mundhenk, P., Navar, J. de J., Stinson, G.** (2015). Changes in forest production, biomass and carbon: results from the 2015 UN FAO Global Forest Resource Assessment. – *Forest Ecology and Management*. Vol. 352, pp. 21–34.
- Krigul, T.** (1971). Metsataksaatori teatmik. Tartu: Eesti Põllumajanduse Akadeemia. 150 lk.
- Kriiska, K., Frey, J., Asi, E., Kabral, N., Uri, V., Aosaar, J., Varik, M., Napa, Ü., Apuhtin, V., Timmusk, T., Ostonen, I** (2019). Variation in annual carbon fluxes affecting the SOC pool in hemiboreal coniferous forests in Estonia. – *Forest Ecology and Management*. Vol. 433, pp. 419–430.
- Kurvits, V.** (1999). Puurinde produktsiooni määramine ja jaotus keskealises pohlamännikus. – *Metsanduslikud uurimused*. Vol. 31, pp. 84–89.
- Lõhmus, K., Mander, Ü., Tullus, H., Keedus, K.** (1996). Productivity, buffering capacity and resources of grey alder forests in Estonia. In: Perttu, K., Koppel, A. (eds.). Short rotation willow coppice for renewable energy and improved environment. – *Proceedings of a joint Swedish – Estonian seminar on energy forestry and vegetation filters*. Uppsala, Sweden, pp. 95–105.

- Neumann, M., Moreno, A., Mues, V., Härkönen, S., Mura, M., Bouriaud, O., Lang, M., Achten, W. M. J., Thivolle-Cazat, A., Bronisz, K., Merganič, J., Decuyper, M., Alberdi, I., Astrup, R., Mohren, F., Hasenauer, H.** (2015) Comparison of carbon estimation methods for European forests - *Forest Ecology and Management*. Vol. 361, No 1, pp 397–420.
- Pan, Y., Birsey, R., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P., Kurz, W., Philips, O.** (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. – *Science*. Vol. 333, pp. 988–993.
- Peng, Y., Thomas, S.C., Dalung, T.** (2008). Forest management and soil respiration: Implications for carbon sequestration. – *Environmental Reviews*. Vol. 16, pp. 93–111.
- Pikk, J. ja Kask, R.** 2014. Männipuidu ehitus ja omadused. Mänd Eestis. Koost. M. Kurm, Vali Press. lk.154–188.
- Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W.A., Smyth, C.E., Blujdea, V.** (2013). Application of the CBM-CFS3 model to estimate Italy's forest carbon budget, 1995–2020. – *Ecological Modelling*. Vol. 266, pp. 144–171.
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M. I., Laurance, W. F.** (2017). World scientists' warning to humanity: a second notice. – *BioScience*. Vol. 67, No. 12, pp. 1026–1028.
- Silm, D.** (2018). Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) maapealne ja maa-alune biomass ning selles seotud süsinikuvaru mustika kasvukohatüübis. Magistritöö, Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 28 lk.
- Telenius, B. F.** (1999). Stand growth of deciduous pioneer tree species on fertile agricultural land in southern Sweden. – *Biomass and Bioenergy*. Vol. 16, pp. 13–23.
- Torga, R.** (2016). The effects of elevated humidity, extreme weather conditions and clear-cut on greenhouse gas emissions in fast growing deciduous forests. Doktoritöö. University of Tartu, Department of Geography, Institute of Ecology and Earth Sciences. Tartu. 63 lk.
- Uri, M.** (2016). Süsiniku varud erineva vanusega palumännikutes. Bakalaureusetöö. Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 24 lk.
- Uri, V., Aosaar J., Varik M., Becker H., Ligi K., Padari A., Kanal A., Lõhmus K.** (2014). The dynamics of biomass production, carbon and nitrogen accumulation in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) chronosequence stands in Estonia. – *Forest Ecology and Management*. Vol. 327, pp. 106–117.

- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Aun, K., Krasnova, A., Morozov, G., Ostonen, I., Mander, Ü., Lõhmus, K., Rosenvald, K., Kriiska, K., Soosaar, K.** (2019). The carbon balance of a six-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystem estimated by different methods. – *Forest Ecology and Management*. Vol. 433, pp. 248–262.
- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Morozov, G., Karoles, K.**, (2017). Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained peatlands. – *Forest Ecology and Management*. Vol. 399, pp. 82–93.
- Uri, V., Lõhmus, K., Kiviste, A., Aosaar, J.** (2009). The dynamics of biomass production in relation to foliar and root traits in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. – *Forestry*. Vol 82. pp. 61–74.
- Uri, V., Lõhmus, K., Ostonen, I., Tullus, H., Lastik, R., Vildo, M.** (2007) Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young silver birch (*Betula pendula* Roth.) stand growing on abandoned agricultural land. – *European Journal of Forest Research*. Vol. 126, No. 4, pp. 495–506.
- Uri, V., Tullus, H., Lõhmus, K.** (2002). Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. – *Forest Ecology and Management*. Vol. 161, No. 1-3, pp. 169–179.
- Uri, V., Varik, M., Aosaar, J., Kanal, A., Kukumägi, M., Lõhmus, K.** (2012). Biomass production and carbon sequestration in a fertile silver birch forest chronosequence. – *Forest Ecology and Management*. Vol. 267, pp. 112–126.
- Varik M., Kukumägi M., Aosaar J., Becker H., Ostonen I., Lõhmus K., Uri V.** (2015). Carbon budgets in fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) chronosequence. – *Ecological Engineering*. Vol. 77, pp. 284–296.
- Watson, R. T., Noble I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J., Dokken D. J.** (2000) Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report: land use, land use change, and forestry. – *Cambridge: Cambridge university Press*. Vol. 375, pp. 9.
- Whittaker, R. H., Woodwell, G. M.** (1968). Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest, New York. – *Ecology*. Vol. 56, pp. 1–25.

- Xiao, C.W., Yuste, J.C., Janssens, I.A., Roskams, P.** (2003). Above- and belowground biomass and net primary production in a 73-year-old Scots pine forest. – *Tree Physiology*. Vol. 23(8), pp. 505–516.
- Zhang, Q., Wang, C., Wang, X., Quan, X.** (2009). Carbon concentration variability of Chinese temperate tree species. – *Forest Ecology and Management*. Vol 258, No 5, pp. 722–727.

LISAD

Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Marek Uri,

(19/02/94 39402192715)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Maapealne biomass, produktsioon ja süsiniku varud erineva vanusega palumännikutes, mille juhendaja on Mats Varik,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 03.06.19

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)